

## مدل سازی جرم و حجم لیمو ترش و بررسی روابط بین خصوصیات فیزیکی با استفاده از روش تحلیل مولفه اصلی (PCA)

مسعود تقی زاده<sup>۱\*</sup> - امیر جاجرمی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۸/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۲/۱۰

### چکیده

در این پژوهش مدل‌سازی ریاضی به منظور تخمین جرم و حجم لیموترش با استفاده از ابعاد و سطح تصویری صورت پذیرفت. مدل‌ها به صورت تک و چند پارامتری ایجاد شدند. همچنین خصوصیات فیزیکی لیموترش شامل ابعاد هندسی، جرم، حجم، دانسیته میوه و توده، ضریب اصطکاک و سطح تصویری میوه اندازه گیری شدند. سطح تصویری لیموترش با استفاده از تکنیک پردازش تصویر و در ۳ بعد محاسبه گردید. در میان مدل‌های ساخته شده، مدلی بر مبنای ۳ بعد میوه، حجم محاسبه شده با استفاده از فرمول محاسبه حجم کره دوکی شکل و سطح سوم تصویری لیموترش با ضریب تبیین ۰/۹۰۹، ۰/۹۵۸، ۰/۹۴۲ و خطای استاندارد تخمین ۱/۵۲، ۱/۱۹، ۱/۱۴ به ترتیب به عنوان مدل‌هایی مناسب جهت پیشگویی جرم لیموترش و مدلی بر مبنای ۳ بعد میوه و سطح تصویری سوم لیمو ترش با ضریب تبیین ۰/۹۵۱ و ۰/۹۴۲ و خطای استاندارد ۱/۳۲ و ۱/۴۱ به ترتیب به عنوان مدل‌های مناسب جهت تخمین حجم لیموترش پیشنهاد گردید. به منظور بررسی خصوصیات فیزیکی لیموترش و روابط بین آنها از روش تحلیل مولفه اصلی استفاده گردید. نتایج نشان دهنده وجود رابطه نزدیک میان سطوح اصطکاک با یکدیگر و پارامترهای رنگی لیموترش می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** لیموترش، خصوصیات فیزیکی، پردازش تصویر، مدل‌سازی ریاضی، تحلیل مولفه اصلی.

### مقدمه

اقتصادی‌ترین محصولات باغی در جنوب ایران است. لیموترش در ایران در سطح وسیعی معادل ۴۱۸۰۰ هکتار، کشت می‌شود و استان هرمزگان با ۷۰ درصد کل تولید، قطب لیموترش در ایران می‌باشد. بر اساس آمار سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو، ۲۰۱۰) ایران با تولید ۶۱۵۰۰۰ تن در میان ۱۰ کشور برتر تولید لیمو در جهان قرار دارد. اگرچه در آشپزی از پوست و گوشت لیمو استفاده می‌شود، اما لیموها را بیشتر به علت آب آنها پرورش می‌دهند. لیموترش حاوی مقدار زیادی اسید سیتریک است که موجب طعم ترش آن می‌گردد. تقاله حاصل از آبیگری لیموترش دارای فیبرهای رژیمی به میزان بالا، ویتامین‌های اسید آسکوربیک، بیوتین، اسید فولیک، پیریدوکسین و اینوزیت و لو نیز میزان مناسب و قابل توجه پکتی نمی‌باشد. شناخت خصوصیات فیزیکی محصولات کشاورزیاز جمله پارامترهای ضروری به منظور طراحی تجهیزات برداشت، درجه بندی، جداسازی و تخمین میزان بار حرارتی در فرایند نگهداری میوه در سردخانه می‌باشد. (محسنین، ۱۹۷۸). همچنین خصوصیات فیزیکی محصولات کشاورزی در پذیرش میوه از جانب مصرف‌کنندگان نیز دارای اهمیت قابل ملاحظه‌ای می‌باشد (طاهری و همکاران، ۲۰۱۱). به صورت کلی

لایم (*Citrus aurantifolia L.*) از گونه مرکبات می‌باشد و دارای ۲ گونه اسیدی و غیر اسیدی می‌باشد. لایم اسیدی به ۲ گونه کی لایم<sup>۳</sup> که در ایران به لیمو شیشه، لیموجهرمی، لیموعمانی، لیموشیرازی و نظایر آنها معروف است و پرشین لایم تقسیم می‌شود و کاملاً با لیموترش اورکاو لیسبون که آنها هم لیموترش نامیده می‌شوند و در حقیقت لیموترش واقعی هستند تفاوت بسیار دارد ولی در زبان فارسی هر دو به نام لیموترش نامیده می‌شود. این رقم بومی مکزیک است ولی اختلاف عقیده در این مورد وجود دارد و به همین دلیل این لایم در محافل بین‌المللی به سه نام مکزیکی لایم، وست لایم و کی لایم معروف است که در حقیقت یک رقم است و به شکل‌های گرد و کشیده دیده می‌شود. لیموترش یکی از مهم‌ترین و

۱-۲ به ترتیب استادیار و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

\* - نویسنده مسئول: (Email: mtaghizadeh@um.ac.ir)  
3-Key lime

حجم لیموها با استفاده از روش جابه جایی با آب و جایگزینی در فرمول ذیل محاسبه گردید (محسنین، ۱۹۷۸).

$$V(\text{cm}^3) = \frac{\text{displaced water (g)}}{\text{water specific mas } (\frac{\text{g}}{\text{cm}^3})} \quad (5)$$

دانسیتة میوه با استفاده از فرمول پیش‌رو محاسبه گردید.

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (6)$$

$\rho$  دانسیته و  $M$  و  $V$  به ترتیب جرم و حجم میوه می‌باشد.

محاسبه میزان تداخل توده میوه با استفاده از فرمول ذیل صورت

پذیرفت (محسنین، ۱۹۷۸).

$$\% \varepsilon = (1 - \frac{\rho_b}{\rho_t}) \times 100 \quad (7)$$

$\varepsilon$  تداخل توده و  $\rho_b$  و  $\rho_t$  به ترتیب دانسیته میوه و دانسیته توده

می‌باشد.

ضریب اصطکاک میوه‌ها در سطوح اصطکاکی آهن گالوانیزه، تخته سه لا، شیشه و لاستیک در سطح شیب دار با استفاده از روش رضوی و بهرام پرور (۲۰۰۷) مورد آزمون قرار گرفت. و با جای گذاری زاویه ریزش در فرمول ذیل ضریب اصطکاک میوه‌ها محاسبه گردید.

$$\mu_s = \tan \alpha \quad (8)$$

سطح تصویری لیمو با استفاده از روش پردازش تصویر و در ۳ جهت محاسبه گردید. (شکل ۱). به این منظور از میوه‌ها در ۳ جهت عکس‌برداری صورت گرفت، بمنظور محاسبه سطح تصویری میوه‌ها، ابتدا جدا سازی اهداف از زمینه یا موضوعات غیر اصلی انجام گرفت. ساده ترین روش برای قطعه بندی یک تصویر با آستانه‌سازی<sup>۳</sup> است. آستانه گیری عملی است برای تبدیل تصویر با شدت روشنایی بین ۰ تا ۲۵۵ به دو مقدار ۰ و ۱ (باینری) تبدیل می‌گردد. آستانه کمیته عددی، که پیکسل‌های با شدت روشنایی بالاتر از آن به ۱ و کمتر از آن به ۰ تبدیل می‌شوند. سپس با کالیبره کردن مقیاس پیکسل به سانتی‌متر سطح تصویری میوه‌ها محاسبه گردید (امید و همکاران، ۲۰۱۰). پردازش تصویر و محاسبه سطح تصویری لیموها با استفاده از نرم‌افزار Image J نسخه ۱/۴۴۷ صورت پذیرفت.

به منظور اندازه گیری رنگ لیموترش‌ها از سیستم پردازش تصویر و فضای رنگی  $L^*a^*b^*$  استفاده گردید. تصاویر در سه جهت و توسط برنامه‌ای تحت نرم افزار ImageJ با عنوان ColorSpace Converter از فضای رنگی RGB به فضای  $L^*a^*b^*$  تبدیل گشت و پارامترهای  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  برای هر تصویر محاسبه و میانگین عددی برای سه جهت، در هر نمونه گزارش گردید. تمامی تصاویر در حالتی گرفته شد که تنظیمات عدسی در حالت دستی، با فاصله کانونی ۵۶ میلی متر و سرعت ۱/۱۰۰ ثانیه و تنظیم روشنایی دوربین، بر روی مد فلورسنس قرار گرفته بود.

مصرف کنندگان، میوه‌هایی با شکل و اندازه یکسان و همچنین بافت و رنگ مناسب را بیشتر مورد توجه قرار می‌دهند (Steenkamp, ۱۹۹۷). در بین خصوصیات فیزیکی، جرم، حجم و سطح تصویری میوه اهمیت بیشتری را در طراحی تجهیزات مربوط به سیستم های جداسازی دارا می‌باشند (میرزایی و همکاران، ۲۰۰۸). طباطبایی فر و همکاران (۲۰۰۰) مدل را به منظور پیشگویی جرم پرتقال بر مبنای خصوصیات ابعادی میوه پیشنهاد دادند همچنین در مواردی مشابه طباطبایی فر و رجب‌پور (۲۰۰۵)، لرستانی و طباطبایی فر (۲۰۰۶)، خانعلی و همکاران (۲۰۰۷)، و خوشنام و همکاران (۲۰۰۷) به ترتیب خصوصیات فیزیکی سیب، ۲ گونه میوه کیوی (هایوارد، ابوتی)، نارنج و انار را مورد مطالعه قرار دادند، آنها همچنین به منظور پیشگویی جرم میوه بر مبنای ابعاد چندین مدل را پیشنهاد دادند. هدف از این پژوهش مطالعه خصوصیات فیزیکی لیموترش شامل ابعاد، شکل، سطح، جرم، حجم، دانسیته میوه و توده، تداخل توده، ضریب اصطکاک و بررسی وجود رابطه میان این خصوصیات و همچنین مدل سازی خصوصیات فیزیکی میوه با استفاده خصوصیات هندسی شامل ابعاد، جرم، حجم و سطح تصویری لیموترش می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### مواد

در این پژوهش به صورت تصادفی تعداد ۳۰۰ نمونه لیموترش شیرازی که در مناطق جنوبی ایران کشت می‌شود به منظور ارزیابی و مدل سازی خصوصیات فیزیکی مورد استفاده قرار گرفت. در ابتدا به منظور تعیین میزان رطوبت اولیه میوه‌ها از روش وزنی (آون با دمای ۸۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت) استفاده شد. (۳ نمونه در ۳ تکرار)، (Singh و Reddy, ۲۰۰۶). با استفاده از کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی متر قطر بزرگ (X)، متوسط (Y) و کوچک (Z) لیموها و برای اندازه گیری جرم میوه‌ها از ترازوی الکترونیکی با دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده گردید. برای تعیین میانگین قطر هندسی<sup>۱</sup> و ضریب کرویت<sup>۲</sup> از معادلات ذیل به ترتیب استفاده شد (محسنین، ۱۹۷۸).

$$D_g = (xyz)^{1/3} \quad (1)$$

$$\Phi = \frac{(xyz)^{1/3}}{L} \quad (2)$$

به منظور تعیین سطح میوه‌ها از فرمول مک کیب و همکاران (۱۹۸۶) و جین و بال (۱۹۹۷) استفاده گردید.

$$S = \pi D_g^2 \quad (3)$$

$$S = \frac{\pi B L^2}{2L - B} \quad (4)$$

1-Geometric mean diameter

2-Sphericity

3-Thresholding



شکل ۱- سطح تصویری لیمو ترش در ۳ جهت

حجم با فرض بیضوی گون بودن میوه.

مدل سازی رگرسیونی بر مبنای ۳ سطح تصویری میوه

$$M/V = k_1PA + k_2PB + k_3PC + k_4 \quad (15)$$

که در این رابطه PA, PB, PC سطح تصویری میوه در ۳ جهت اصلی میوه می باشند.

#### آنالیز مولفه اصلی<sup>۴</sup> (PCA)

هنگامی که تعداد متغیرها در آزمونی زیاد باشد مدل حاصله به داده‌ها دارای وابستگی بالایی می‌باشد و برآورد صحیحی از وجود رابطه بین متغیرها حاصل نمی‌گرداند به این منظور برای ارزیابی خصوصیات فیزیکی لیمو ترش و ارزیابی وجود رابطه بین این خصوصیات از روش تحلیل مولفه اصلیا استفاده شد. روش تحلیل مولفه اصلی متغیرها را بر مبنای بزرگی واریانس جدا می‌کند در نتیجه بررسی وجود روابط متغیرها آسان تر خواهد شد. تحلیل مولفه اصلی با استفاده از نرم افزار spss نسخه ۲۰ صورت پذیرفت.

### نتایج و بحث

#### خصوصیات فیزیکی

میزان متوسط رطوبت اولیه لیموها ۸۴/۳۴ درصد بر مبنای جرم مرطوب محاسبه گردید. خصوصیات فیزیکی لیمو نظیر ابعاد، شکل، سطح، جرم، حجم، دانسیته میوه و توده، تخلخل توده، ضریب اصطکاک در جدول شماره ۱ بیان شده است. متوسط طول، عرض و ضخامت لیمو به ترتیب ۳۵/۸۴، ۳۲/۹۲ و ۳۲/۵۶ تعیین شد. ضریب اصطکاک لیمو بر روی سطوح آهن گالوانیزه، لاستیک، تخته سه‌لا و شیشه تعیین شد که بیشترین میزان اصطکاک مربوط به شیشه با ضریب اصطکاک ۰/۷۶ و کمترین مربوط به تخته سه‌لا با ضریب ۰/۴۹ می‌باشد. متوسط کرویت و نسبت ظاهری لیموها به ترتیب ۹۱/۴۴ و ۹۴/۶۱ درصد محاسبه گردید.

#### مدل سازی رگرسیونی (خطی، تک و چند متغیره)

به منظور آنالیز داده‌ها و همچنین تعیین مدل میان پارامترها از نرم افزار اکسل نسخه ۲۰۰۷ و SPSS نسخه ۲۰ استفاده گردید. به منظور مدل سازی چند متغیره از تکنیک رگرسیون قدم به قدم<sup>۱</sup> استفاده گردید. در این مدل متغیرهای پیشگویی کننده تک تک به معادله اضافه می‌شود و به دنبال آن اگر نقش معنی‌داری در رگرسیون نداشته باشد از آن حذف می‌شود (شریف و همکاران، ۲۰۰۷).  
به منظور تخمین جرم و حجم لیمو بر مبنای خصوصیات فیزیکی اندازه گیری شده (ابعاد، حجم و سطح تصویری به منظور تخمین جرم و ابعاد و سطح تصویری به منظور تخمین حجم) ۳ دسته مدل سازی صورت پذیرفت.

مدل سازی رگرسیونی بر مبنای طول، عرض و ضخامت لیمو.

$$\frac{M}{V} = k^1x + k^2y + k^3z + k_4 \quad (9)$$

در این رابطه M جرم و V حجم میوه، x, y, z به ترتیب طول، عرض و ضخامت لیمو و k<sub>1</sub> تا k<sub>2</sub> ضرایب مدل می‌باشند.

مدل سازی رگرسیونی بر مبنای حجم میوه اندازه گیری شده به روش جابجایی با آب و حجم لیمو محاسبه شده با فرض کره دوکی شکل<sup>۲</sup> و بیضوی گون میوه<sup>۳</sup>.

$$M = K_1V_{PSP} + K_2 \quad (10)$$

$$M = K_1V_{ell} + K_2 \quad (11)$$

$$M = K_1V + K_2 \quad (12)$$

$$V_{PSP}(cm^3) = \frac{4\pi}{3} \left(\frac{x}{2}\right) \left(\frac{y}{2}\right)^2 \quad (13)$$

$$V_{ell}(cm^3) = \frac{4\pi}{3} \left(\frac{x}{2}\right) \left(\frac{y}{2}\right) \left(\frac{z}{2}\right) \quad (14)$$

در این روابط V<sub>PSP</sub> حجم میوه با فرض کره دوکی شکل و V<sub>ell</sub>

1-Step wise regression

2-Prolate spheroid

3-Ellipsoid

4-Principal component analysis

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی لیموترش

حدود تغییر	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	انحراف استاندارد	مقدار متوسط	تکرار	واحد	خصوصیات اندازه گیری شده
۱۹/۹	۲۶/۴۷	۴۶/۳۷	۳/۵۳	۳۵/۸۴	۳۰۰	Mm	قطر بزرگ
۱۵/۸۱	۲۴/۴۵	۴/۲۷	۲/۸۸	۳۲/۹۲	۳۰۰	Mm	قطر متوسط
۱۳/۶۳	۲۵/۵۶	۳۹/۱۶	۲/۷	۳۲/۵۶	۳۰۰	Mm	قطر کوچک
۲۶/۶۷	۱۱/۱	۳۹/۱۹	۵/۰۲	۲۲/۹۱	۳۰۰	g	جرم
۱۵/۱۴	۲۶/۳۴	۴۱/۴۸	۲/۸	۳۳/۷۲	۳۰۰	Mm	قطر هندسی
۲۸/۵۷	۸۱/۷۴	۱۱۰/۳۱	۴/۵	۶۴/۳۲	۳۰۰	%	ضریب کرویت
۳۲/۲۵	۲۱/۷۷	۵۴/۰۳	۵/۸۶	۳۵/۹۵	۳۰۰	Cm <sup>2</sup>	سطح
۲۶/۶۳	۱۱/۱۳	۳۷/۷۶	۵/۸۳	۲۰/۵۹	۱۰۰	Cm <sup>3</sup>	حجم
۲۳/۴۸	۸/۹۳	۳۲/۴۱	۵/۰۴	۱۷/۰۶	۱۰۰	Cm <sup>3</sup>	حجم با فرض کره دوکی شکل
۲۳/۱۵	۹/۵۶	۳۲/۷۱	۵/۰۱	۱۷/۰۷	۱۰۰	Cm <sup>3</sup>	حجم با فرض بیضوی گون
۵۶/۱۸	۹۷۴/۴۶۲	۱۰۳۰/۶۴	۶/۲۲	۹۹۷/۳۳	۱۰۰	Kg/m <sup>3</sup>	دانسیته میوه
۱۹/۶۲	۲۸/۲۷	۵۷/۸۹	۴/۸	۴۵/۴	۲۰	%	تخلخل
							ضریب اصطکاک
۰/۲۶	۰/۳۸	۰/۶۴	۰/۰۷	۰/۴۹	۲۰	-	تخته ۳ لا
۰/۲۷	۰/۴	۰/۶۷	۰/۰۶	۰/۵۳	۲۰	-	لاستیک
۰/۳	۰/۴	۰/۷	۰/۰۷	۰/۵۶	۲۰	-	آهن گالوانیزه
۰/۱۶	۰/۶۷	۰/۸۳	۰/۰۳	۰/۷۶	۲۰	-	شیشه
							سطح تصویری
۸/۴۱	۵/۱۳	۱۳/۵۴	۱/۶۲	۷/۵۵	۱۰۰	Cm <sup>2</sup>	a
۹/۲۵	۶/۱۴	۱۵/۳۹	۱/۸۸	۹/۰۵۶	۱۰۰	Cm <sup>2</sup>	b
۹/۶۱	۶/۱۸	۱۵/۵۹	۲/۳	۹/۴۵	۱۰۰	Cm <sup>2</sup>	c
							رنگ
۱۵/۲	۷۸/۲۵۳	۹۳/۴۵۷	۳/۷	۸۸/۷۶۱	۲۰	-	L*
۸/۵	-۳۵/۴۷	-۲۶/۹۶۶	۲	-۳۱/۲۷۲	۲۰	-	a*
۹/۳	۶۵/۵۹۱	۷۴/۸۹۱	۳/۱	۶۹/۷۰۵	۲۰	-	b*

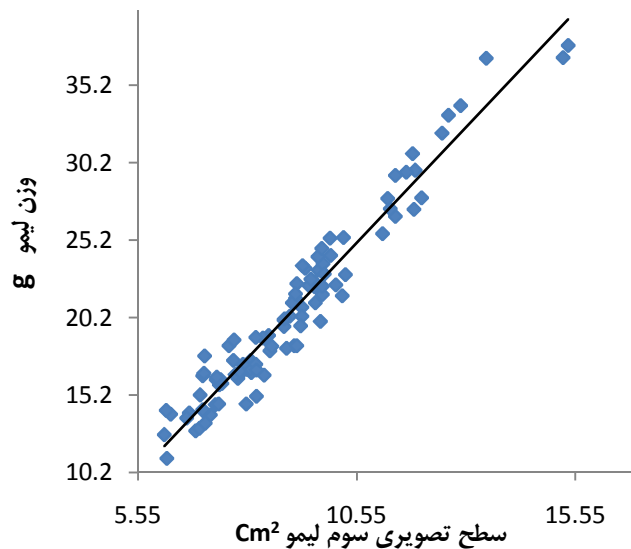
مدل شماره ۵ با ۳ پارامتر و بالاترین ضریب تبیین ( $R^2$ ) و کمترین خطای استاندارد تخمین (S.E.E) را دارا می باشد. و در میان مدل‌های تک پارامتری مدل شماره ۲ با ریشه میانگین مربعات  $0/829$  درصد وضرب خطای تخمین  $2/04$  بهترین کارایی را برای تخمین جرم میوه بر مبنای قطر متوسط میوه دارد (شکل ۲). اما با توجه به عدم متقارن بودن شکل محصولات کشاورزی استفاده از یک بعد هندسی میوه برای تخمین جرم نتایج رضایت بخشی را حاصل نمی‌گرداند. ضریب تبیین پایین‌تر بدست آمده در این پژوهش در مقایسه با نتایج بدست آمده توسط لرستانی و طباطبایی‌فر برای کیوی ( $0/96$ ) به دلیل شکل نامتقارن و وجود زوائد در سر و انتهای لیموترش می‌باشد.

ضریب کرویت لیمو در مقایسه با نتایج بدست آمده توسط شریف و همکاران ( $2007$ ) برای پرتقال گونه تامسون دارای مقدار مشابهی اما در مقایسه با کرویت پرتقال گونه ناول که توسط Topuz و همکاران ( $2006$ ) که  $98/2\%$  گزارش گردید دارای درصد پایین‌تری بود.

#### ارزیابی مدل‌های رگرسیونی برای تخمین جرم لیموترش تخمین جرم بر مبنای ابعاد هندسی لیموترش

بصورتی که نتایج حاصل از مدل سازی که در جدول شماره ۲ آورده شده است نشان می‌دهد معادلات توصیه شده بر مبنای خصوصیات هندسی نشان دهنده رابطه بالایی بین ۳ بعد اصلی محصول با جرم لیموترش می‌باشد.

در دسته اول مدل بر مبنای ابعاد میوه (شماره ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵)



شکل ۲- رابطه بین سطح تصویری سوم با جرم لیموترش

میوه اختلاف چندانی مشاهده نمی‌شود اما با توجه به استفاده از ۲ بعد میوه به منظور محاسبات، استفاده از فرمول محاسبه حجم بر مبنای کره دوکی شکل مناسب‌تر می‌باشد.

جدول ۲- ضرایب تبیین ( $R^2$ ) و خطای استاندارد پیشگویی (S.E.E)

برای مدل‌های رگرسیونی خطی پیشگویی جرم لیموترش

NO	Models	$R^2$	S.E.E
۱	$M=1/175x-21/19$	.۶۸۴	۲/۸۲
۲	$M=1/585y-29/28$	.۸۲۹	۲/۰۸
۳	$M=1/65z-30/92$	.۸۱۵	۲/۱۶
۴	$M=0/53x+1/13y-33/317$	.۹۰	۱/۵۹
۵	$M=0/51x+0/63y+0/56z-34/771$	.۹۰۹	۱/۵۲
۶	$M=0/034PA-5/375$	.۹۲۱	۱/۶۳۴
۷	$M=0/024PB-2/318$	.۹۲۱	۱/۶۳۷
۸	$M=0/029PC-6/45$	.۹۴۲	۱/۴
۹	$M=0/016PA+0/017+PC-7/264$	.۹۷۸	.۸۶
۱۰	$M=0/015PA+0/005PB+0/012PC-6/628$	.۹۸	.۸۱
۱۱	$M=1/24V_{psp}+1/396$	.۹۵۸	۱/۱۹
۱۲	$M=1/33V_{ell}+1/198$	.۹۵۹	۱/۱۷
۱۳	$M=0/939V+1/373$	.۹۶۵	۱/۰۹

تخمین حجم بر مبنای ابعاد لیموترش

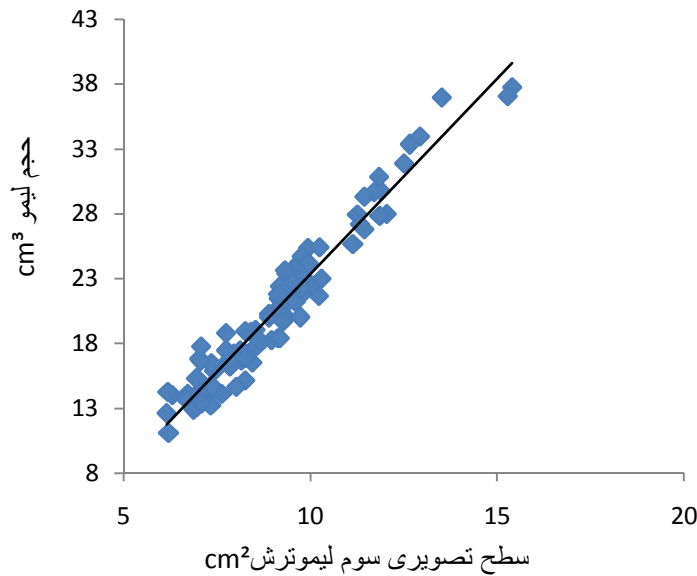
بصورتی که نتایج حاصل از مدل سازی که در جدول شماره ۳ آورده شده است نشان می‌دهد معادلات حاصله نشان دهنده وجود روابط بالاتری بین حجم و ۳ بعد اصلی میوه نسبت به جرم لیموترش می‌باشد.

تخمین جرم بر مبنای سطح تصویری لیموترش

بصورتی نتایج حاصل از جدول شماره ۲ نشان می‌دهد در میان مدل‌های رگرسیونی خطی برای تخمین جرم میوه بر اساس سطح تصویری لیمو (شماره ۵، ۶، ۷ و ۸) مدل شماره ۸ با ۳ پارامتر و بالاترین  $R^2$  و کمترین میزان S.E.E مدلی مناسب برای تخمین جرم لیموترش می‌باشد اما با توجه به ۳ پارامتر بودن مدل و نیاز به ۳ سطح تصویری برای تخمین جرم میوه این مدل چندان اقتصادی نمی‌باشد، به این منظور در میان مدل‌های تک پارامتری بر اساس یک سطح تصویری از میوه مدل شماره ۷ بر مبنای سطح تصویری سوم لیموترش با بالاترین  $R^2$  و کمترین S.E.E به عنوان مدلی اقتصادی به منظور تخمین جرم میوه توصیه می‌گردد (شکل ۲).

تخمین جرم بر مبنای حجم لیموترش

در میان مدل‌های رگرسیونی به منظور تخمین جرم لیمو بر مبنای حجم میوه (شماره ۱۰، ۱۱، ۱۲) مدل شماره ۱۳ بر اساس حجم اندازه گیری شده به صورت مستقیم می‌باشد. میان مدل‌های ۱۰ و ۱۱ به منظور تخمین جرم بر مبنای حجم محاسبه شده با استفاده از ابعاد، اختلاف چندانی وجود ندارد. تخمین جرم میوه با استفاده از حجم میوه که به صورت مستقیم با استفاده از روش جابه‌جایی با آب بدست آمده است تخمین دقیق‌تری از جرم میوه می‌دهد اما با توجه به عدم عملی بودن این روش در مقیاس صنعتی و همچنین عدم مزیت نسبی نسبت به محاسبه حجم میوه بر مبنای روابط ریاضی کاربرد آن توصیه نمی‌گردد. همانگونه که از ضرایب تبیین مدل‌ها مشاهده می‌گردد بین محاسبه حجم بر مبنای فرض کره دوکی شکل و بیضوی گون بودن



شکل ۳- رابطه سطح تصویری سوم با حجم لیموترش

جدول ۳- ضرایب تبیین ( $R^2$ ) و خطای استاندارد پیشگویی (S.E.E) برای مدل‌های رگرسیونی خطی پیشگویی حجم لیموترش

NO	Models	$R^2$	S.E.E
۱	$V=1/236x-21/29$	.۶۵۳	۳/۴۳۴
۲	$V=1/784y-34/099$	.۸۷۷	۲/۰۴۵
۳	$V=1/658z-30/301$	.۸۱۲	۲/۵۵
۴	$V=-0/524x+1/358y-38/823$	.۹۴۶	۱/۳۷
۵	$V=-0/503x+1/103y+0/312z-39/918$	.۹۵۱	۱/۳۲
۶	$V=-0/34PA-5/372$	.۹۲۱	۱/۶۳
۷	$V=-0/24PB-2/314$	.۹۲۱	۱/۶۵۴
۸	$V=-0/30PC-6/452$	.۹۴۲	۱/۴
۹	$V=0/16PA+0/17PC-7/264$	.۹۷۸	.۸۶
۱۰	$V=0/15PA+0/05PB+0/12PC-6/628$	.۹۸	.۸۱

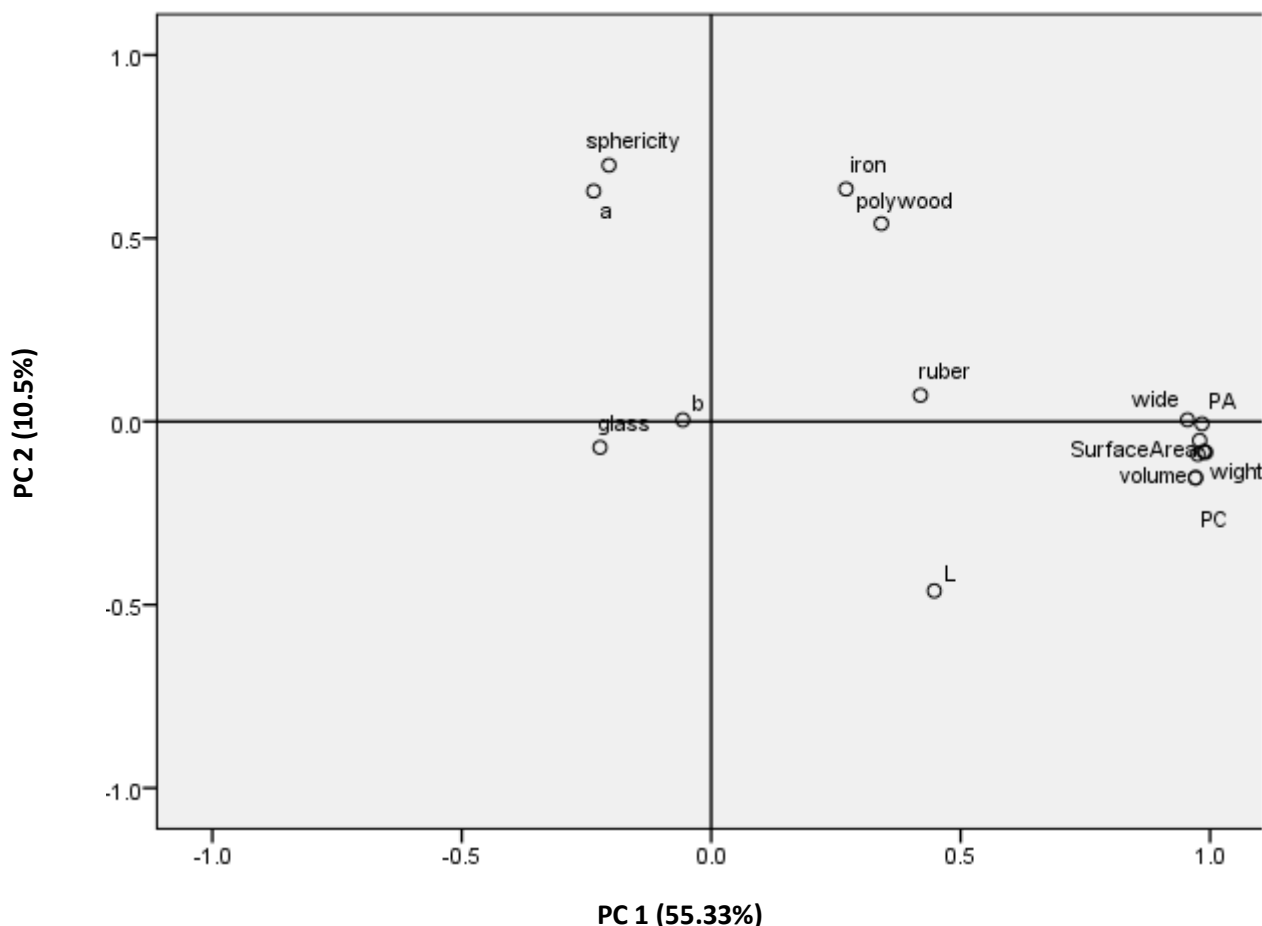
همکاران (۲۰۰۷) در مدل سازی جرم و حجم ۴ گونه نارنج دارای مطابقت می‌باشد. در مدل‌های تک پارامتری بر مبنای قطر متوسط، در تمامی گونه‌های نارنج به غیر از گونه پیچ، که ضرایب یکسانی برای مدل‌های تخمین جرم و حجم بدست آمده بود، در مورد سایر گونه‌ها همواره مدل‌های تخمین حجم ضرایب بالاتری نسبت به مدل‌های تخمین جرم خود نشان دادند.

جدول ۴- نتایج آنالیز مولفه اصلی خصوصیات فیزیکی لیموترش

مولفه	مقادیر ویژه	درصد واریانس
۱	۴/۴۰۶	۵۵/۳۳
۲	۱/۸	۱۰/۵۸
۳	۱/۵۱	۸/۸۸
۴	۱/۱۵۱	۶/۷۷

در دسته اول مدل بر مبنای ابعاد میوه (شماره ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵) مدل شماره ۵ با ۳ پارامتر و بالاترین ضریب تبیین ( $R^2$ ) و کمترین خطای استاندارد تخمین (S.E.E)<sup>۱</sup> بالاترین میزان تخمین و کمترین میزان خطا را دارا می‌باشد. و در میان مدل‌های تک پارامتری مدل شماره ۲ با ریشه میانگین مربعات ۰/۸۷۷ درصد و ضریب خطای تخمین ۲/۰۴ بهترین کارایی را برای تخمین حجم میوه بر مبنای قطر متوسط میوه دارد. برخلاف نتایج حاصل از مدل سازی تخمین جرم بر مبنای تک پارامتر قطر متوسط، نتایج قابل قبول تری به منظور استفاده از مدلی تک پارامتری بر مبنای قطر متوسط به منظور تخمین حجم لیموترش حاصل گردید که با نتایج گزارش شده توسط خانعلی و

1-Standard error of the estimate



شکل ۴- نمودار پراکنش خصوصیات فیزیکی لیموترش و ارتباط آن‌ها با یکدیگر

(خانعلی و همکاران، ۲۰۰۷) نشان‌دهنده بالاتر بودن جرئی ضریب تبیین مدل‌های تخمین جرم و حجم بر مبنای سه بعد اصلی در پژوهش‌های قبلی نسبت به این پژوهش می‌باشد. این مساله می‌تواند به دلیل یکنواختی بیشتر شکل میوه‌های مذکور نسبت به لیموترش و مشابه ضریب تبیین مدل‌های تخمین جرم و حجم بر مبنای سه سطح تصویری با مدل‌های تبیین شده در این پژوهش می‌باشد.

#### آنالیز مولفه اصلی بر روی خصوصیات فیزیکی لیموترش

ارزیابی خصوصیات فیزیکی لیموترش با استفاده از روش آنالیز مولفه اصلی نشان‌دهنده وجود چهار مولفه بر مبنای مقادیر ویژه<sup>۱</sup> بزرگتر از یک برای پاسخ‌ها است (جدول ۴) که در این میان مولفه اول و دوم با بیشترین مقادیر ویژه و درصد واریانس، به عنوان مولفه اصلی در نظر گرفته شدند و پراکنش بر مبنای این دو مولفه رسم

#### تخمین حجم بر مبنای سطح تصویری لیموترش

در میان مدل‌های رگرسیونی خطی برای تخمین حجم میوه بر اساس سطح تصویری لیمو (شماره ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰) مدل شماره ۱۰ با ۳ پارامتر و بالاترین  $R^2$  و کمترین میزان S.E.E مدلی مناسب برای تخمین جرم لیمو می‌باشد اما همانگونه که اشاره گردید با توجه به ۳ پارامتر بودن مدل و نیاز به ۳ سطح تصویری برای تخمین حجم میوه این مدل چندان اقتصادی نمی‌باشد به این منظور مدل تک پارامتری بر مبنای سطح سوم تصویری از میوه مدل مناسبتری با بالاترین  $R^2$  و کمترین S.E.E به منظور تخمین حجم میوه توصیه می‌گردد (شکل ۳). در مقایسه در میان مدل‌های تک پارامتری تخمین جرم و حجم لیموترش تفاوتی چندان در  $R^2$  وجود ندارد و فقط S.E.E مدل تخمین حجم اندکی پایین تر می‌باشد.

نتایج حاصل از مدل سازی تخمین جرم و حجم حاصل از این پژوهش در مقایسه با مدل‌های تدوین شده برای انتقال (طباطبایی فر و همکاران، ۲۰۰۰)، کیوی (لرستانی و طباطبایی فر، ۲۰۰۶) و نارنج

1-Eigenvalue

### نتیجه گیری

لیموترش از جمله میوهایی می‌باشد که هم در بازار مصرف به صورت تازه خوری و همچنین در صنعت به منظور استخراج عصاره دارای جایگاه حائز اهمیتی می‌باشد. به این منظور شناخت خصوصیات فیزیکی و همچنین روابط بین این خصوصیات به منظور طراحی تجهیزات مرتبط با برداشت، انتقال و فرآوری این محصول امری ضروری می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌دهنده وجود روابط بالایی بین این خصوصیات می‌باشد. تخمین جرم و حجم بر اساس ۳ سطح تصویری میوه دارای نتایج دقیق‌تری نسبت به سایر خصوصیات فیزیکی می‌باشد اما با توجه به نیاز به تصویربرداری در ۳ بعد میوه این مدل چندان مقرون به صرفه نمی‌باشد به این منظور مدل تک پارامتری با استفاده از بعد سوم میوه به منظور تخمین جرم و حجم محصول به دلیل دقت و سهولت امر توصیه می‌گردد. ارزیابی خصوصیات فیزیکی با استفاده از روش آنالیز مولفه اصلی مبین وجود رابطه بین این خصوصیات با یکدیگر می‌باشد. نتایج نشان‌دهنده وجود رابطه بین پارامترهای رنگی لیموترش با ضرایب اصطکاکی در سطوح مختلف و همچنین ضریب کرویت لیموترش می‌باشد.

گردید. همانگونه که در شکل ۴ نشان داده شده است با بررسی موقعیت قرار گرفتن خصوصیات فیزیکی لیموترش در فضای PCA می‌توان وجود رابطه بین خصوصیات فیزیکی لیموترش را مورد بررسی قرار داد. نتایج حاصل از تحلیل مولفه اصلی در مورد رابطه بالای بین سطوح تصویری، ابعاد، جرم و حجم لیموترش با نتایج حاصل از مدل‌سازی رگرسیونی دارای مطابقت می‌باشد. بین سطوح اصطکاکی آهن گالوانیزه و تخته سه‌لا ارتباط بالایی وجود دارد و تغییرات این دو در جهت مثبت با یکدیگر است. همچنین بین سطح اصطکاکی لاستیک، جرم، حجم، ابعاد و سطح تصویری لیموترش رابطه بالایی وجود دارد و با افزایش پارامترهای جرم، حجم، ابعاد و سطح تصویری میزان اصطکاک بر روی سطح لاستیک افزایش خواهد یافت، خصوصیات فوق‌الذکر با سطح اصطکاکی شیشه رابطه منفی و نسبت به دو سطح تخته سه‌لا و آهن گالوانیزه صفات مستقل می‌باشند همچنین بین درصد کرویت و پارامتر رنگی  $a^*$  و سطح اصطکاکی شیشه و پارامتر  $b^*$  رابطه‌ای در جهت مثبت وجود دارد. سطوح اصطکاکی آهن گالوانیزه، تخته سه‌لا و لاستیک با پارامتر رنگی  $L^*$  دارای ارتباط در جهت منفی می‌باشد.

### منابع

- Food and Agriculture Organization (FAO), 2010., <http://www.fao.org/statistics.htm>
- Khanali, M., GhasemiVarnamkhasti, M., Tabatabaefar, A., & Mobli, H. (2007). Mass and volume modelling of tangerine (*Citrus reticulata*) fruit with some physical attributes. *International Agrophysics*, 21(4), 329.
- Khoshnam, F., Tabatabaefar, A., Varnamkhasti, M. G., & Borghei, A. (2007). Mass modeling of pomegranate (*Punicagranatum*.) fruit with some physical characteristics. *Scientia Horticulturae*, 114(1), 21-26.
- Lojestani, A. N., & Tabatabaefar, A. (2006). Modelling the mass of kiwi fruit by geometrical attributes. *International Agrophysics*, 20(2), 135.
- Lojestani, A. N., & Tabatabaefar, A. (2006). Modelling the mass of kiwi fruit by geometrical attributes. *International Agrophysics*, 20(2), 135.
- Mirzaee, E., Rafiee, S., Keyhani, A., Djom-eh, Z. E., & Kheiralipour, K. (2008). Mass modeling of two varieties of apricot (*Prunus armeniaca* L.) with some physical characteristics. *Plant Omics*, 1(1), 37-43.
- Mohsenin, N. N. (1978). Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Sci. Publ., New York
- Omid, M., Khojastehnazhand, M., & Tabatabaefar, A. (2010). Estimating volume and mass of citrus fruits by image processing technique. *Journal of food engineering*, 100(2), 315-321.
- Razavi, S. M. A., & Bahram Parvar, M. (2007). Some physical and mechanical properties of kiwifruit. *International Journal of Food Engineering*, 3(6).
- Razavi, S.M.A. & Akbari, R., Biophysical Properties of Agricultural and Food Materials, Third edition (2012), Ferdowsi University of Mashhad Publication.
- Sharifi, M., Rafiee, S., Keyhani, A., Jafari, A., Mobli, H., Rajabipour, A., & Akram, A. (2007). Some physical properties of orange (var. Tompson). *International Agrophysics*, 21(4), 391.
- Singh, K. K., & Reddy, B. S. (2006). Post-harvest physico-mechanical properties of orange peel and fruit. *Journal of food engineering*, 73(2), 112-120.
- Steenkamp, J.-B.E. (1997). Dynamics in consumer behavior with respect to agricultural and food products. In *Agricultural marketing and consumer behavior in a changing world*, (pp. 143-188): Springer.
- Tabatabaefar, A., & Rajabipour, A. (2005). Modeling the mass of apples by geometrical attributes. *Scientia Horticulturae*, 105(3), 373-382.
- Tabatabaefar, A., Vefagh-Nematolahee, A., & Rajabipour, A. (2000). Modeling of orange mass based on dimensions. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2(4), 299-305.
- Taheri-Garavand, A., Rafiee, S., & Keyhani, A. (2011). Study on some morphological and physical characteristics of tomato used in mass models to characterize best post harvesting options. *Australian Journal of Crop Science*, 5(4).



Topuz, A., Topakci, M., Canakci, M., Akinci, I., &Ozdemir, F. (2005).Physical and nutritional properties of four orange varieties.*Journal of Food Engineering*, 66(4), 519-523.

## Mass and volume modeling of lime and investigation of the correlation between different physical properties using principle component analysis (PCA)

M. Taghizadeh<sup>\*1</sup> - A. Jajarmi<sup>2</sup>

Received: 2013.11.02

Accepted: 2014.04.30

**Introduction:** Lime (*Citrus aurantifolia* L) is belonged to citrus family and has two varieties on the basis of sweet or sour taste; two well known varieties of sour lime are Persian and Key that are cultivated in the southern of Iran. Based on FAO statistics, Iran produced about 615,000 tons of lime in 2010, and is ranked among 10 lime producers in world wide. Physical properties of fruits are essential information in designing equipments and processes being used in different manufacturing stages such as harvesting, cleaning, sorting and grading, transporting, packaging, as well as estimating of cooling and heating loads during heat transfer processes. Moreover, physical properties affect products acceptability since consumers usually prefer fruits and vegetables with brighter color, appropriate size and uniform shape. Among physical properties, weight, volume and projected area are important parameters for designing sorting equipment.

**Materials and methods:** In this study, lime samples were selected from Key variety which is cultivated in southern of Iran. From the whole, physical properties of about 300 limes were investigated and regression model were developed to estimate weight and volume on the basis of length, width, thickness and projected area. In order to determine the initial moisture, ten lime samples were randomly selected and taken in to hot air oven at 80°C for 24 h. The average values of three replicates were reported. The major dimensions (Length (*L*), width (*W*), thickness (*T*)) were measured using a micrometer with an accuracy of 0.01 mm. Projected area of limes was calculated in three dimensions using image processing technique. Apparent color for the lime samples was also measured in terms of CIE 'L\*' (lightness), "a\*" (redness and greenness) and "b\*" (yellowness and blueness), using image processing techniques. Step wise regression was used to develop multivariate models. In this method, the independent variables would enter the equation successively based upon their degree of dependency. In order to estimate weight and volume of lime samples, three category models were developed as follow. 1- Regression models based on length, width and thickness. 2- Regression models for predicting weight of lime based on calculated volume. 3- Regression models based on projected area. When there are a large number of variables in the database, it is very likely that subsets of variables are highly correlated with each other. In this study, principle component analysis (PCA) was applied in order to have an accurate and reliable evaluation from existed correlation between physical properties of lime.

**Result and discussion:** The initial moisture content of limes was found to be 84.34%. The averaged values of length, width and thickness of limes were 35.84, 32.92 and 32.56, respectively. The static coefficient of friction for limes was determined on four different surfaces namely plywood, galvanized iron sheet, rubber and glass. The glass and plywood showed maximum and minimum static coefficient of friction respectively. In addition, the sphericity and aspect ratio of lime were found to be 94.32% and 92.18%, respectively. The obtained sphericity values were similar to values reported by Sharifi *et al.*, (2007) for orange variety of Tamson and lower than orange varieties of Navel reported by Topuz *et al.*, (2006). The obtained results showed high correlation between three major dimensions and lime's weight. The predictive models for lime have lower coefficient in comparison with Lorestani and Tabatabaefar (2006) research report for heterogeneous shape of limes. Among regression models for weight prediction of limes, the best model was obtained on the basis of the third projected area with  $R^2$  of 0.921. The regression models on the basis of calculated volume showed appropriate performance for prediction of lime's weight. Among regression models on the basis of dimensions, the single parameter model based on lime's width found to be the highest coefficient for prediction of volume. Similar to weight prediction, single parameter model on the basis of the third projected area showed the best performance for volume prediction.

**Conclusion:** The results obtained from principle component analysis confirmed the regression models and showed high correlation between physical properties such as projected area, dimension, weight and volume with each other as well as positive correlation with coefficient of friction on the rubber surface and negative

1 And 2- Assistant Professor and former M.Sc. Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran  
(\*Corresponding Author Email: mtaghizadeh@um.ac.ir)

correlation on the glass surface.

**Key Words:** Lime, Physical Properties, Image Processing, Mathematical Modeling, Principle Component Analysis